Mejoramiento de Operación de Horno de Fusión por medio del uso de Quemadores de Combustible Mixto Enriquecido con Oxígeno

Bertha Jiménez León[1], Ignacio Wiesner Falconí[2]

[1]Ingeniera Mecánica 2004
[2]Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1971, Postgrado México, UNAM - Politécnica de México, Investigador Visitante del CENIM – España y el IPT – Brasil, Profesor de ESPOL desde 1975

RESUMEN

En esta tesis se prueban diferentes alternativas de mezcla de combustibles, tales como diesel + aire, GLP + aire, Sistema dual (Diesel + GLP) + aire, Diesel + aire enriquecido con O_2 al 25 y al 30 %, GLP + aire enriquecido con O_2 al 25 y al 30 % y, Sistema dual (Diesel + GLP) + aire enriquecido con O_2 al 25 y al 30 %. En estas pruebas se hacen ensayos, tales como de combustión y medición de parámetros, en los gases de combustión: SO_2, NO_x, CO, O_2, temperatura del horno y llama.

Realizados los ensayos, se tuvieron resultados sobre las mezclas de combustibles. La mezcla de combustibles con la mejor temperatura de llama y con emisiones aceptables es la mezcla Diesel – GLP + aire enriquecido con O_2. Por otro lado la mezcla de GLP + aire enriquecido con O_2, presentó temperatura de llama menor y las más bajas emisiones.

Se concluye que la primera mezcla es la que deben usar los fundidores de materiales ferrosos y la segunda mezcla la deben usar los fundidores de materiales no ferrosos.

INTRODUCCIÒN

El reciclaje de desperdicios metálicos de aluminio, cobre, zinc y hierro por parte de fundidores artesanales viene acompañado por el uso de lubricante de desperdicio y los consecuentes impactos ambientales en zonas urbanas. Este proyecto consiste en la elección del mejor sistema de combustible para los hornos de fusión en reemplazo del aceite quemado, debido que este combustible causa problemas a los seres humanos y al medio ambiente, por las dioxinas y furanos emitidos. Además se especifica en la legislación ambiental ecuatoriana la prohibición de su uso, el cual puede generar en multas o clausura de la empresa. Los fundidores pueden continuar usando este combustible solamente, si se utilizan sistemas de control de emisiones, para atenuar su peligro, pero lamentablemente estos empresarios no tienen capacidad económica y técnica para instalarlos, entonces esta propuesta de solución del problema es de impostergable implantación.

CONTENIDO

Objetivos:
Los objetivos específicos de esta tesis son los siguientes:

- Determinar cual es la mejor opción, tanto económica, técnica, ambiental y social, para el cambio de combustible del aceite quemado.

- Planear como realizar pruebas, en las que se medirán diferentes parámetros, para poder comprobar cual de las diferentes opciones es la mejor para el cambio de combustible.

- Establecer mediante ensayos de prueba y error cual es el porcentaje de oxígeno que se debe agregar y cuando se debe realizar la inyección del mismo, durante la operación del horno de fusión.

- Hacer cambios en el quemador de petróleo, para poner entradas de GLP y O_2.

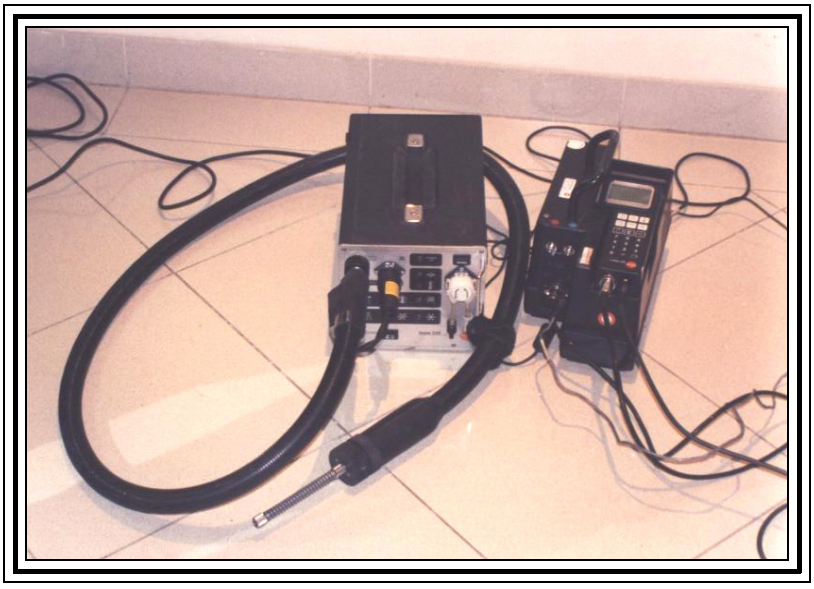
- Hacer una chimenea para recoger los gases de la combustión y ubicar los puertos para los registros instrumentales.

Metodología

Se escogió un equipo de tipo artesanal que es muy común en los tallares de micro y mediana empresas, que consiste en un horno tipo crisol en foso, con quemador de premezcla de aire – combustible, acoplado directamente a ventilador del alta presión – 280 cfm (0,122 m^3/s) y 1,63 lb/in^2 (11 207 N/m^2) – y que tiene una capacidad de fusión de 60 kg de cobre puro. Se le instaló una chimenea de chapa de acero de 200 mm de diámetro X 1 200 mm de longitud justo sobre la tapa del horno. Otra de las adecuaciones que se efectuó, fue en el quemador, a fin de poder introducir gas licuado de petróleo y oxígeno para enriquecer el aire de combustión. En la fotografía 1, se puede apreciar el quemador utilizado, en la fotografía 2 se observa la adecuación de chimenea con puertos para mediciones. En la fotografía 3 se puede ver alguno de los equipos de medición utilizados.

FOTOGRAFÍA 1:
Vista del quemador utilizado

FOTOGRAFÍA 2:
Momento en que se realiza un ensayo de medición de gases, en los puertos de toma de muestra. Se está midiendo con un equipo marca BACHARACH.



FOTOGRAFÍA 3:
Vista del equipo de medición de gases TESTO junto a la Unidad preparadora de gases y la sección de calentamiento.

Para poder cumplir con los objetivos propuestos se realizaron ensayos con las siguientes mezclas:

- Diesel + aire
- GLP + aire
- Sistema dual (Diesel + GLP) + aire
- Diesel + aire enriquecido con O_2 al 25 y al 30 %

- GLP + aire enriquecido con O_2 al 25 y al 30 %
- Sistema dual (Diesel + GLP) + aire enriquecido con O_2 al 25 y al 30 %

En las pruebas también se realizaron ensayos en el que se utilizó aceite quemado + aire, aceite quemado + GLP + aire, aceite quemado + aire enriquecido con O_2 al 30 %, y en esta forma poder obtener la situación actual de la empresa.

En las siguientes fotos se puede observar un momento en que se realizaban los ensayos, y los equipos utilizados.

Parámetros medidos

Para realizar las pruebas se midieron los siguientes parámetros:

- Temperatura de la llama
- Temperatura del horno
- Oxígeno - O_2 en los gases de la chimenea
- Gases de combustión
  - Óxidos de Nitrógeno – NO_x
  - Dióxido de Azufre – SO_2
  - Monóxido de Carbono – CO
- Consumo de Combustible

Equipos Utilizados para Mediciones

Para poder determinar estos parámetros, se utilizaron los siguientes equipos de medición:

- Equipo portátil para medición de gases de combustión, marca TESTO, modelo 350
- Equipos portátiles marca BACHARACH para medición de:
  - Oxígeno, O_2, Oxor®,
  - Óxidos de Nitrógeno, NO_x, Nonoxor® II,
  - Dióxido de Azufre, SO_2, Dioxor®,
  - Monóxido de Carbono, CO, Monoxor® II
- Termocupla tipo K
- Cronómetro
- Balanza

Una vez realizadas todas las pruebas se obtuvieron los siguientes resultados, que se exponen en la tabla # 1.

Tabla # 1
Resultados de las pruebas realizadas

Mezclas Ensayadas	Óxidos de Nitrógeno NO_x	Dióxido de Azufre SO_2	Monóxido de Carbono CO	Oxigeno O_2	Temperatura de Llama	Temperatura de Horno	Aspecto visual de los humos en el arranque	Consumo de combustible	
								Líquido	Gaseoso
Aceite quemado + aire	53,0 (331)	75,3 (650)	76,8 (292)	16,3	1 215	962	Oscuros densos	5,1	-
Aceite quemado + GLP + aire	42,5 (173)	69 (392)	100,6 (251)	13,9	1 456	1200		1,5	8,1
Aceite quemado + aire con O_2 al 30%	66,1 (244)	86,9 (449)	151 (337)	13,2	1 506	1249		3,5	
Diesel + aire	44,6 (225)	56,8 (400)	143,6 (435)	15,2	1 238	1238	Café claro medianos	7,1	-
Diesel + aire con O_2 al 25%	45,8 (180)	59,4 (325)	112,9 (264)	13,5	1 318	1065		6,3	-
Diesel + aire con O_2 al 30%	33,7 (170)	41,2 (288)	75,4 (232)	15,2	1 370	1118		4,8	-
GLP + aire	20,5 (102)	0 (0)	531,7 (1 605)	15,2	1 014	759	Transparentes, ligeros	-	14,8
GLP + aire con O_2 25%	11,4 (91)	0 (0)	186,1 (934)	17,3	1 102	854		-	10,0
GLP + aire con O_2 al 30%	16,1 (77)	0 (0)	281 (823)	15	1 221	967		-	8,2
Diesel + GLP + aire	38,8 (198)	44,8 (424)	143,7 (424)	15,2	1 371	1119	Café claro ligeros	3,4	13,4
Diesel - GLP + aire con O_2 al 25%	37 (164)	27,4 (169)	44,5 (119)	14,5	1 456	1201		3,0	11,9
Diesel - GLP + aire con O_2 al 30 %	28,4 (153)	21,7 (163)	18,5 (61)	15,6	1 553	1299		1,7	6,7
Unidades	ppm (mg/m^3)	ppm (mg/m^3)	ppm (mg/m^3)	%	° C	° C	-	gal/ h	kg/h

Notas:
ppm: partes por millón
mg/m^3: miligramos por metro cúbico de aire a condiciones normales (0 °C y 1 atm), y corregidos a 7% de Oxígeno.
°C: grados centígrados
gal/h: galones por hora
kg/h: kilogramos por hora

De la tabla se destacan las siguientes observaciones y comentarios en relación al objetivo principal de este trabajo, o sea el cambio de combustible en la fusión de materiales metálicos reciclables. Cabe recalcar que estas mediciones fueron hechas en base a Sistemas de Gestión ambiental, tales como Producción más Limpia y el uso de la Regulación Ambiental Ecuatoriana.

- Para emisiones de SO2, el combustible que reportó menor valor fue el GLP, cuyo resultado fue 0 ppm, o sea 0 mg/m^3. En cambio el combustible que obtuvo mayor concentración de este contaminante fue el Aceite quemado, con una concentración de 650 mg/m3, y este valor disminuyó cuando se le inyecto oxígeno y cuando se lo mezcló con GLP, 455 y 392 mg/m^3 respectivamente.

- En el caso de las emisiones de NOx, el aceite quemado y el GLP reportaron 331 mg/m^3 y 77 mg/m^3, las mayores y menores emisiones, respectivamente. En el caso del Diesel y del Diesel – GLP, cuando no se inyecta oxígeno, las emisiones permanecen iguales para los dos (198 mg/m3), y cuando se mezcla el aire con el oxígeno las emisiones de ambos disminuyen en aproximadamente 50 mg/m^3.

- Contrario a las otras concentraciones de contaminantes, el CO emitido por el GLP, 1 605 mg/m^3 es el que valor numéricamente más alto de los combustibles, en cambio el diesel es el combustible con menores emisiones de CO - 61 mg/m^3 -. Las emisiones de CO para el diesel y el sistema dual diesel – GLP son similares, ambas están alrededor de 430 mg/m^3.

- El porcentaje de oxigeno en la chimenea, registra un valor elevado, esto se debe a que la chimenea no se encuentra completamente acoplada al horno de fusión, esto se debe a la necesidad de un espacio suficiente para ingresar la materia prima al horno. Cabe recalcar que durante las mediciones se trato de cubrir estos espacios mediante planchas de acero, pero igualmente se filtraba aire entre las planchas.

- Probablemente la disminución del porcentaje de oxígeno medido en la chimenea cuando se enriqueció el aire, se debe a errores experimentales por una falta de control en la inyección del aire desde el soplador.

- Un parámetro muy importante para saber cual es el sistema adecuado es la temperatura de la llama y la del horno. La temperatura de referencia sería la que se obtiene mediante el aceite quemado, debido a que es el combustible con el que han estado trabajando, para la fusión de metales ferrosos.

- La temperatura de la llama y del horno cuando se utiliza aceite quemado es de 1 215 y 962 ° C, respectivamente. Los sistemas que sobrepasan esa temperatura son el sistema a diesel y el dual (diesel – GLP). En cambio el GLP alcanza 1 014 y 854 ° C (temperatura de llama y horno respectivamente).

- En cuanto al aspecto visual de los humos, cuando se utiliza aceite quemado se observan humos oscuros negruscos y que se veían densos, lo cual indica que hay alta contaminación. En el caso de los sistemas con Diesel, se pudo ver que el humo era mas bien ligero y de un color café claro, y menos densos cuando son mezclados con GLP. Cuando se utilizo GLP, se percibió un aspecto visual transparente de los humos.

- Para el combustible actualmente utilizado en esta empresa, aceite quemado, se necesitan 5 galones por hora. Si se utiliza aceite y GLP, el consumo del aceite es de 1,5 galones y el del combustible gaseoso es de 8,1 kg/h. Cuando se enriquece el aire con oxigeno al 30%, esta mezcla hace que se disminuya el consumo a un 67%.

- El cambio de combustible de aceite quemado a Diesel incrementaría el consumo, pero si se enriquece el aire con Oxígeno al 30 %, el consumo de diesel disminuiría ligeramente con respecto al aceite quemado.

- El consumo de combustible del GLP + aire es 14,8 kg, y para el caso de las pruebas donde el aire fue enriquecido con oxígeno al 5 y 10 % decrece en alrededor del 32 y 45%, respectivamente.

- El uso de combustibles mixtos, GLP – Diesel, fue el que en consumos pareció más al combustible actualmente utilizado, incluso si se enriquece esta mezcla con oxígeno, el consumo de GLP disminuye en alrededor del 20 %, y el consumo de combustible diesel es similar al del aceite quemado.

Matriz de Evaluación

Una vez que se analizan los resultados, se hacen matrices de evaluación, donde se tienen criterios técnicos, económicos, de seguridad y ambientales.

Entre los criterios técnicos se tienen los siguientes:
- Tiempo en llegar a la máxima temperatura
- Control de flujo másico de combustible
- Temperatura de llama
- Rapidez del encendido
- Facilidad de mantenimiento
- Mezcla aire – combustible
- Suministro de combustible – aire

Entre los criterios económicos se encontraron los siguientes:
- Disponibilidad de repuestos
- Garantía del proveedor
- Costo de combustible
- Disponibilidad de combustible
- Costo de inversión
- Costo de operación
- Uso de elementos auxiliares
- Costo asociado a seguridad
- Acondicionamiento del combustible

En cuanto a la seguridad, se evaluó los siguientes parámetros:
- Seguridad de operación
- Manejo de combustible
- Facilidad de manejo
- Seguridad de los empleados

Para la matriz de decisión ambiental, se utilizó los siguientes parámetros:
- Emisiones
- Sustentabilidad de la opción

- Impactos ambientales
- Consumo de Combustible

La matriz de resultados generales se presenta a en la tabla 2

TABLA 2

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE QUEMADORES

CONTRA CRITERIOS Y PONDERACIÓN

Mezcla	Técnico	Seguridad	Ambiental	Económico	TOTAL
Diesel +aire	54	36	18	20	128
GLP + aire	57	18	36	23	134
Diesel - GLP + aire	69	30	27	23	149
Diesel –aire + O2	66	27	27	20	140
GLP -aire + O2	63	15	36	23	137
Diesel - GLP + aire + O2	72	21	36	22	**151**

Análisis de Resultados

Después de haber realizado las ponderaciones para cada uno de los criterios: económico, técnico, seguridad y ambiental, se llega a las siguientes observaciones:

- La mejor alternativa para la selección de quemadores, es el quemador dual con aire enriquecido con oxígeno. Aunque no obtuvo tan buen puntaje en el factor de seguridad, debido a que utiliza GLP y O2, que aumentan el riesgo, pero también mejoran otros factores como son el técnico y el ambiental, donde el sistema dual + aire + O2 obtuvo las mayores calificaciones.

- El sistema a diesel + aire, fue la alternativa que obtuvo la menor calificación de todos, solamente en el factor seguridad obtuvo el mayor puntaje. Debido a que entre las alternativas evaluadas es el que mayor costo posee, mayor impacto ambiental, y en el factor técnico tiene calificaciones entre bueno y óptimo.

- Los sistemas a GLP también obtuvieron valores bajos, esto se debe a que en factores tales como seguridad y técnicos, lograron calificaciones bajas y medias, respectivamente.

- El aceite quemado como combustible, no es opción debido a que viola la Norma Ambiental Ecuatoriana, y en el caso que se quisiera continuar utilizando, el uso de sistemas de control de emisiones son costosas, siempre son un gasto y no provee de valor agregado al producto.

- En el caso del combustible gaseoso, GLP, su consumo es razonable, además de que sus emisiones son las más limpias de todos los combustibles utilizados. El problema de este combustible es que la máxima temperatura de la llama de este, incluso cuando se lo enriquece con oxigeno, es muy baja para la fusión de los metales ferrosos que aquí se han tratado. El GLP es el combustible ideal para los metales no ferrosos.

- El mejor sistema para la operación del horno de fusión, es el sistema de combustibles dual, Diesel – GLP, enriquecido con oxígeno, donde se incrementa la temperatura de la llama, mejora la eficiencia térmica, se reduce la concentración de los contaminantes y se reduce el consumo de combustibles.

- El enriquecimiento de oxígeno en operaciones de combustión industrial, aplicables a quemadores y hornos, se hace cada vez más necesaria por las ventajas intrínsecas que conlleva, tal como el incremento en la eficiencia térmica y el aumento de temperatura de la llama, y todo con bajo presupuesto de implantación.

- El incremento del nivel de oxígeno en el aire de combustión debe ser del 21 al 30 %, debido a que las ventajas que se obtienen son más notables en este rango.

- Durante las pruebas se logró mejorar el funcionamiento con un precalentamiento a base de gas, y luego de tener el horno caliente se hizo la inyección de Diesel.

- Ya que la mejor opción consiste en el sistema Diesel – GLP, se debe cuidar la seguridad industrial, revisando los sistemas de válvulas del GLP y oxígeno.

- Los costos de la inversión en el sistema dual: Diesel – GLP, y de la operación del mismo no son significativos para argumentar su no utilización para los fundidores.

CONCLUSIONES

Del análisis anterior se tienen las siguientes conclusiones:

- La mejor opción de combustible utilizable, en hornos artesanales de metales ferrosos, es la mezcla denominada sistema dual: Diesel – GLP con aire enriquecido con oxígeno.

- En cambio para la fusión de los metales no ferrosos, la mejor alternativa es el combustible GLP.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que la FIMCP motive y apoye proyectos para que se promueva la implantación de estos sistemas en el sector productivo, ya que cuenta con profesores comprometidos con temas tales como Producción más Limpia y la aplicación de las normas ambientales en el sector industrial.

REFERENCIAS

a) B. Jiménez, “Mejoramiento de Operación de Horno de Fusión por medio del uso de Quemadores de Combustible Mixto Enriquecido con Oxígeno” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2004)

b) N. De Nevers, Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire, (1era. Edición McGraw-Hill, U.S.A., 1997), Capítulo 4

c) TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA, Ecuador, Corporación de Estudios y Publicaciones, Actualizada a Diciembre de 2002, Libro sexto – Anexo 3.

d) ONUDI – PNUMA – CANACINTRA – USAID, Producción más Limpia en el Sector de Fundición, (Primera Edición, México 1998). Capitulo 2 y 3

e) Schuhmann Jr Reinhardt, Metallurgical Engineering - Engineering Principles, Vol. 1, (Addison- Wesley Publishing Company, Inc; U.S.A. 1952)

f) J Vélez “Incremento de la Eficiencia Térmica de un horno de Calentamiento a través del Enriquecimiento de la Mezcla con Oxígeno” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1989)

g) ROBBINS STEPHEN, COULTER MARY, Administración, (Sexta Edición, Prentice Hall Inc. 2000) Capítulo 6

View publication stats